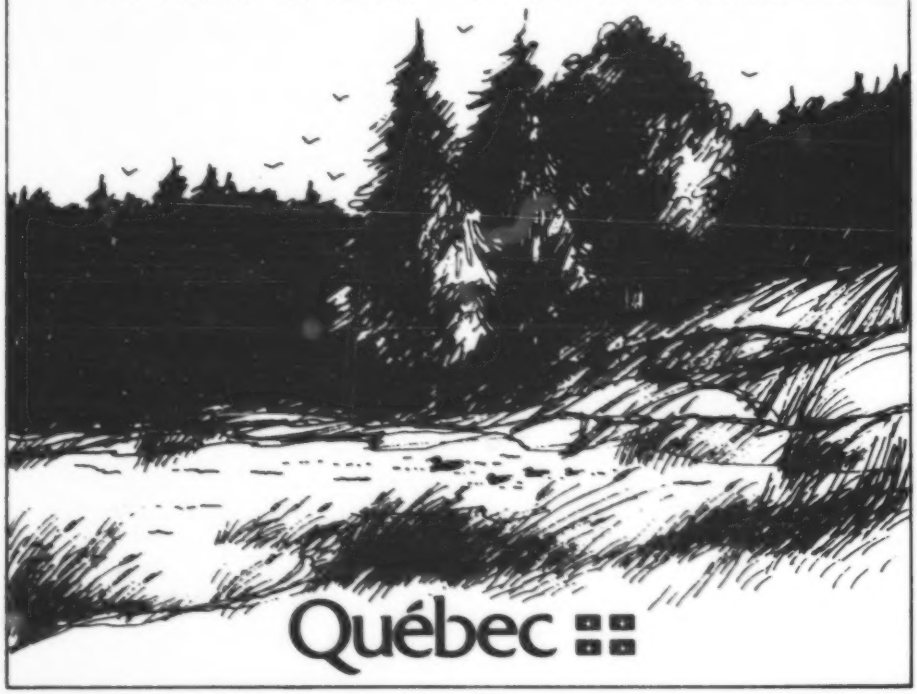
RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS LE SOL FORESTIER SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN 1985 ET 1986.



Québec

88-05477/

RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS LE SOL FORESTIER SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN 1985 ET 1986

Jean Legris, biologiste
Gisèle Couture, tech. de la faune

Service des études environnementales

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction de la Conservation

Québec, avril 1988

©Gouvernement du Québec
Dépôt légal - 3e trimestre 1988
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-18855-1

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes du ministère de l'Energie et des Ressources pour leur collaboration à la réalisation de cette étude.

Service des études environnementales:

Simon Arbour, étudiant
Michel Carmichael, tech. de laboratoire
Sylvie Delisle, tech. de la faune
Gilles Gaboury, biologiste, Chef de service
Luc Laberge, biologiste
Denis Labrie, tech. de la faune
Guy Mamarbachi, chimiste
Nicole Nadeau, tech. de laboratoire
Guy Parent, tech. de la faune
Pierre Petitclerc, tech. de la faune
Simone Roy, secrétaire
Robert St-Laurent, étudiant

Service de la régénération forestière:

Peng-Chea Im, ingénieur forestier

Service de la protection contre les insectes et les maladies:

Bruno Boulet, ingénieur forestier

Des remerciements sont également adressés au personnel attitré aux pulvérisations de phytocide dans chacune des unités de gestion concernées.

SOMMAIRE

Depuis 1985, le ministère de l'Énergie et des Ressources utilise du glyphosate (Roundup^{MD}) pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées dans le cadre de son programme d'entretien des plantations.

La présente étude vise à connaître les quantités résiduelles et la persistance du glyphosate dans le sol forestier québécois après des pulvérisations terrestres à une dose de 1 495 g i.a./ha. Deux sites, traités en 1985, ont servi à la récolte de données échelonnées sur près d'un an et demi. En 1986, sept sites répartis dans différentes régions du Québec ont été échantillonnés jusqu'à trois mois après traitement.

En considérant l'ensemble des résultats (41 échantillons composites), le niveau le plus élevé de glyphosate est de 1,37 µg/g (poids sec), un jour après le traitement. Par contre, on retrouve une moyenne de 0,750 µg/g ± 0,362 µg/g pendant la semaine suivant le traitement. Lors du premier mois qui suit une pulvérisation, la quantité de résidus diminue assez rapidement. Après deux mois, le niveau moyen de résidus est de 0,205 µg/g ± 0,124 µg/g soit 27% de la valeur moyenne initiale. Ensuite, la diminution des résidus s'avère plutôt lente et pour les deux sites échantillonnés douze mois après le traitement, on retrouve encore 16% de résidus de glyphosate. Aucun résidu de glyphosate n'a été détecté après 15 mois (< 0,050 µg/g).

L'analyse distincte des fractions organique et minérale, dans les 10 premiers centimètres du sol d'un secteur, a révélé l'absence de résidu dans la fraction minérale suggérant ainsi une faible mobilité du produit.

La relation obtenue à la suite d'une analyse de régression entre la quantité de résidus de glyphosate dans le sol et le délai d'échantillonnage après le traitement présente un coefficient de détermination (R^2) égal à 0,74.

D'autres programmes d'échantillonnage sont proposés afin de confirmer et de préciser le patron général de disparition du produit dans le sol.

Mots-clés : glyphosate, résidus, sol, persistance

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988. Résidus de glyphosate dans le sol forestier suite à des pulvérisations terrestres en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3318, 22 p.

SUMMARY

Since 1985, within the framework of its plantation tending program, the ministère de l'Énergie et des Ressources has been using glyphosate (Roundup^{R}) to control competitive vegetation detrimental to reforested species.

The present study is aimed at measuring the amount of glyphosate remaining in Québec's forest soil following to ground application of this herbicide in dosage of 1 495 g a.i./ha. It is also intended to determine the persistence of these glyphosate residues. For almost a year and a half, data were collected on two sites which had been treated in 1985. In 1986, samples were collected for up to three months after treatment on seven sites located in different parts of Québec.

When the results are considered as a whole (41 composite samples), it can be noted that the highest level of glyphosate, that is 1.37 µg/g (dry weight), was recorded the day after the herbicide was applied. However, within a week of the treatment, an average of 0.750 µg/g ± 0.362 µg/g was observed. The quantity of residues fell quite sharply during the month that followed the spraying. Two months after treatment, the average residue level was 0.205 µg/g ± 0.124 µg/g, or 27% of the mean initial value. After this period, residue levels declined rather slowly and for the two sites that were sampled 12 months after the herbicide had been applied, again 16% of glyphosate residues were observed. After fifteen months, no glyphosate residues were detected (< 0.050 µg/g).

After performing separate analyses of the organic and the mineral components found in the first 10 centimeters of soil in one of the sectors tested, we did not detect any glyphosate residues in the mineral components studied. These results suggest that the herbicide is not very mobile.

Using regression analysis to establish the relationship between the amount of glyphosate residues in the soil and the length of time between treatment and sampling, we obtained a coefficient of determination (R^2) of 0.74.

We recommend that other sampling programs be carried out to measure and enhance the accuracy of the general pattern of dissipation of glyphosate residues in the soil.

Key words : glyphosate, residues, soil, persistence

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988. Résidus de glyphosate dans le sol forestier suite à des pulvérisations terrestres en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3318, 22 p.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

SOMMAIRE v

SUMMARY vii

TABLE DES MATIÈRES ix

LISTE DES TABLEAUX xi

LISTE DES FIGURES xi

INTRODUCTION 1

1. PROGRAMME DE PULVÉRISATION 3

    1.1 Description des stations échantillonnées 3
    1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation 6

2. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE 7

    2.1 Description de l'échantillonnage 7
    2.2 Technique de prélèvement 8
    2.3 Technique d'analyse 9

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION 11

    3.1 Comportement des résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées en 1985 11
    3.2 Résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées en 1986 13
    3.3 Patron général de disparition des résidus de glyphosate dans le sol 15

CONCLUSION 19

BIBLIOGRAPHIE 21

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : Principales caractéristiques des stations échantillonnées dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le sol en 1985 et 1986 4

TABLEAU 2 : Résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1985 11

TABLEAU 3 : Résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1986 14

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le sol en 1985 et 1986 3

FIGURE 2 : Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1985 . 12

FIGURE 3 : Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1986 . 15

FIGURE 4 : Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans des sols forestiers traités à 1 495 g i.a./ha en 1985 et 1986 16

INTRODUCTION

Depuis 1985, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) utilise le glyphosate (Roundup^{MD}) pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées dans le cadre de son programme d'entretien des plantations. Des pulvérisateurs à barillets de type BoomJet^{MD} ont permis de traiter par voie terrestre environ 2 500 ha en 1985 et 5 000 ha en 1986.

Lors de ces travaux de dégagement de la régénération de conifères en milieu forestier, plusieurs études ont été réalisées afin de mieux connaître le comportement du produit dans diverses composantes de l'environnement. Le sol, l'air (Major et Mamarbachi, 1987), le milieu aquatique (Legris et al., 1987) et la végétation (Legris et Couture, 1988) ont fait l'objet de suivis environnementaux distincts. Une étude sur l'exposition professionnelle chez les travailleurs a également été amorcée en 1986.

La présente étude vise plus spécifiquement à connaître les quantités résiduelles et la persistance du glyphosate dans le sol forestier québécois après des pulvérisations terrestres. Pour ce faire, deux sites traités en 1985 ont servi à la récolte de données échelonnées sur près d'un an et demi. En 1986, sept sites répartis dans différentes régions du Québec ont été échantillonnés à l'intérieur d'un délai de trois mois.

1. PROGRAMME DE PULVÉRISATION

Neuf secteurs traités ont été sélectionnés pour cette étude. Ils sont distribués un peu partout à travers la province de Québec. La figure 1 permet la localisation de ces secteurs. Ceux-ci sont représentatifs des travaux de pulvérisation exécutés sous la supervision du MER.

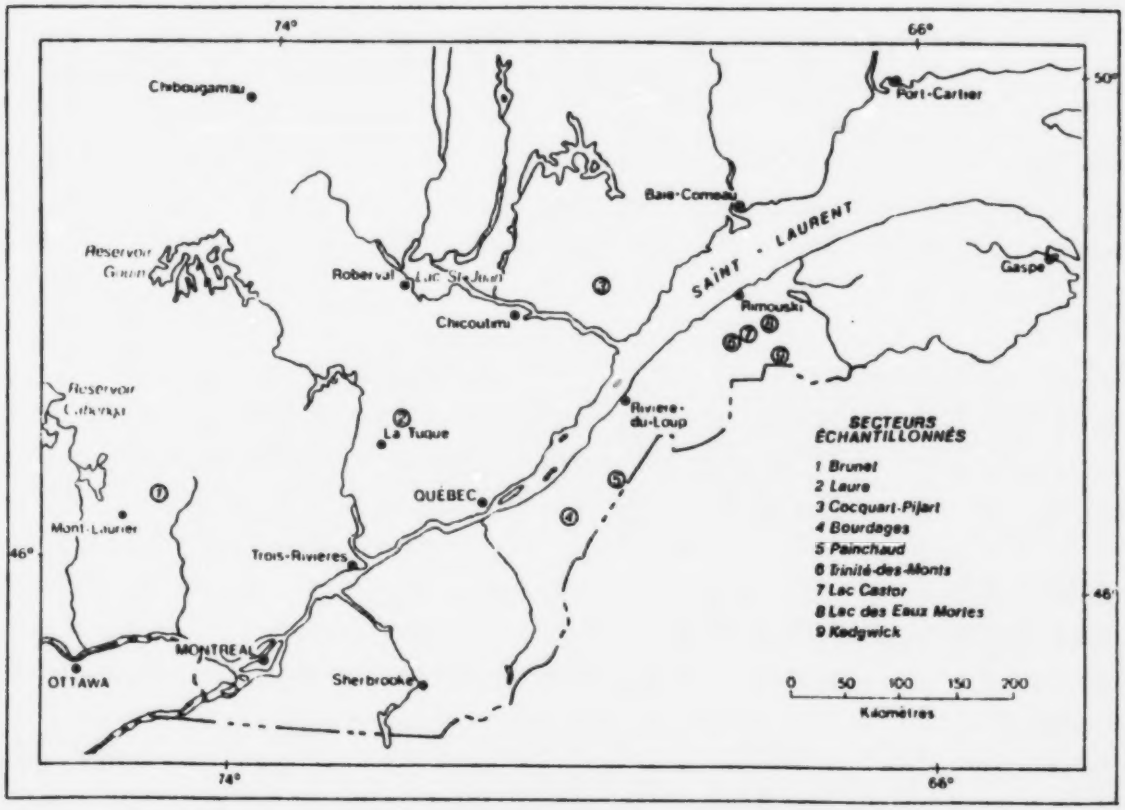


FIGURE 1: Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le sol en 1985 et 1986

1.1 Description des stations échantillonnées

Toutes les stations échantillonnées ont été établies sur des sites relativement plats. Le tableau 1 synthétise les principales caractéristiques de chacune des stations.

TABLEAU 1: Principales caractéristiques des stations échantillonnées dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate dans le sol en 1985 et 1986

Stations	Coupe forestière	Préparation de terrain	Pulvérisation de phytocides	Situation topographique	Drainage	Végétation		
						Couverture	Hauteur	Dominances
Kedgwick	1978	1982	1985	mi-versant	moyen	97%	1m	Épilobe Framboisier
Lac Castor	1977	1983	1985	mi-versant	moyen	99%	1m	Épilobe Épervière
Trinité-des-Monts	1977-79	1983	1986	mi-versant	lent	90%	0,75m	Framboisier
Painchaud	1975-81	1982	1986	mi-versant	moyen	95%	1,5m	Framboisier Cerisier
Bourdage	1978	1982	1986	bas de versant	lent	70%	0,50m	Framboisier Herbacées
Corcuart-Pijart	1978-81	1982-83	1986	bas de versant	lent	60%	1m	Framboisier Épilobe
Brunet	1976-80	1983	1986	sommet	rapide	85%	1,5m	Cerisier Framboisier
Laure	1978-81	1982	1986	mi-versant	lent	80%	2m	Framboisier Cerisier Bouleau
Lac des Eaux Mortes - 1	1979-80	1984	1986	sommet	moyen	98%	0,75m	Framboisier
Lac des Eaux Mortes - 2	1979-80	1984	1986	mi-versant	rapide	70%	1m	Épilobe Framboisier

Les stations Kedgwick et Lac Castor ont servi à établir un modèle de base du comportement du glyphosate dans le sol forestier. Il s'agit des stations traitées en 1985. Située à proximité des frontières de la province du Nouveau-Brunswick, la station Kedgwick était localisée dans un secteur de 28 hectares ayant subi des coupes en 1978. En 1982, ce territoire a été préparé avec un appareil de type "Marathon-Létourneau" pour ensuite être reboisé avec de l'Epinette en 1984. Le taux de survie de la plantation en 1985 était de 83,4%. La densité du couvert végétal, à la station, était d'environ 97% avec une prédominance marquée pour l'Epilobe à feuilles étroites (Epilobium angustifolium L.) et le Framboisier (Rubus idaeus L.). La hauteur de ce couvert atteignait près de 1 mètre. La station était localisée sur un mi-versant qui présentait un drainage moyen. Le sol présentait la texture d'un loam argileux. Le pH variait de 3,25 dans l'horizon organique à 4,13 dans l'horizon minéral sous-jacent.

La station Lac Castor était localisée dans la Réserve de Rimouski à environ 50 km au sud-est de Rimouski. Un secteur de 15 hectares coupé en 1977 a été préparé avec un appareil de type "Marathon-Létourneau" en 1983 pour être reboisé en 1984 avec de l'Epinette noire (Picea mariana (Mill.)). Le taux de survie constaté en 1985 était de 83%. La couverture végétale avant la pulvérisation représentait environ 99% de la surface de la station, avec une prédominance pour l'Epilobe à feuilles étroites et l'Epervière (Hieracium sp.). Cette station était aussi sur un mi-versant à drainage moyen. La texture du sol s'apparentait à un loam sableux et le pH de la strate 0-10 cm était de 5,40.

Les stations visitées uniquement en 1986 ont été réparties dans différentes régions du Québec. Les secteurs échantillonnés ont été: Trinité-des-Monts à 45 km au sud de Rimouski, Painchaud à 35 km au sud-est de La Pocatière, Bourdages à 20 km à l'est de Montmagny, Cocquart-Pijart à 50 km à l'ouest des Escoumins, Brunet à 45 km au nord-est de Mont-Laurier, Laure à 45 km au nord-est de La Tuque et le Lac des Eaux-Mortes à 40 km au sud-est de Rimouski où l'on a considéré deux stations. La plupart des stations présentaient des caractéristiques semblables au niveau de la situation topographique: mi-versant à pente faible. Le drainage était variable selon chacun des secteurs.

Les sols minéraux (loams non différenciés) étaient fréquemment couverts d'une couche de matière organique variant de 5 à 15 cm.

1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation

Le Roundup^{MD}, formulation liquide soluble à l'eau, fabriqué par Monsanto Canada Inc. était utilisé lors des travaux réalisés en 1985 et 1986[1]. Celui-ci contient 41% de sel isopropylaminique de glyphosate et 59% d'additifs (eau et adjuvants). L'ingrédient actif est le glyphosate ou N-(phosphonométhyle)-glycine et le Roundup^{MD} en contient 356 grammes par litre.

La dose théorique d'application était de 1 495 grammes d'ingrédients actifs par hectare soit 4,2 litres de produit à l'hectare. La bouillie était pulvérisée au taux de 424,2 l/ha soit 1 portion de Roundup^{MD} pour 100 portions d'eau. Généralement l'application terrestre est effectuée à l'aide d'un pulvérisateur à barillet de type BoomJet^{MD} monté sur un transporteur. La bande de végétation traitée était de 15 mètres à chaque passage.

Les normes du MER relatives à l'utilisation des phytocides en milieu forestier (Bélanger et Lécuyer, 1982) spécifiaient, entre autres, les périodes propices à la pulvérisation. La vitesse du vent devait être inférieure à 8 km/h, l'humidité relative supérieure à 50% et la température à l'ombre, inférieure à 24°C. Ces caractéristiques favorables sont souvent réunies tôt le matin et à la tombée du jour. La pluie pouvant réduire l'efficacité du traitement, il était recommandé de s'assurer qu'il n'y ait pas d'averse à l'intérieur d'une période de quatre heures après la fin des pulvérisations. Mentionnons de plus que ces opérations avaient lieu généralement du début août à la mi-septembre alors que l'aoûtement des conifères est terminé.

---

[1] La citation des noms commerciaux ne constitue pas une recommandation d'utilisation par le MER. Depuis 1987, le Roundup^{MD} est désigné Vision^{MD}.

2. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

2.1 Description de l'échantillonnage

Dans toutes les stations, les échantillons récoltés étaient constitués de 8 à 10 prélèvements distribués transversalement à deux passages adjacents du pulvérisateur. Comme il existait des contraintes dans le nombre d'échantillons à analyser, la méthode utilisée permettait, avec peu d'analyses, d'obtenir une certaine représentativité des niveaux moyens de résidus retrouvés dans les secteurs échantillonnés. Le recours à des échantillons composites atténuait l'influence locale occasionnée par exemple par un changement accentué au niveau du relief, de la végétation ou du sol. De plus, cette méthode de travail considérait les limites techniques du mode de pulvérisation en ce qui a trait à la variabilité du dépôt dans la bande effective. En effet, lors d'une étude récente sur l'évaluation du dépôt de glyphosate lors de pulvérisations supervisées par le MER, Dostie et Lécuyer (1987) ont observé une variation importante des concentrations de phytocide à l'intérieur de la bande effective. Par rapport à la dose théorique appliquée qui est de 1 495 g i.a./ha, ils ont détecté, par analyses chromatographiques, des valeurs ponctuelles qui vont d'un maximum de 4 051 g i.a./ha à une valeur minimale de 254 g i.a./ha. Toutefois, la quantité moyenne de produit retrouvée sous la bande de pulvérisation approchait la dose théorique (environ 1,4 fois la dose théorique). Ces mêmes auteurs précisent la cause de cette variation : "Cette non uniformité est attribuable au principe même du pulvérisateur composé de 5 buses qui projettent des gouttelettes de diamètres différents. Les grosses (jusqu'à 10 000 microns) étant dirigées vers les limites de la bande effective et les plus petites (100 microns) sous le pulvérisateur". À ce facteur s'ajoutent les variations associées au relief accidenté et à la présence de pierres (blocs) ou de déchets de coupe qui peuvent faire basculer, d'un côté ou de l'autre, le pulvérisateur.

A la station Kedgwick, les prélèvements des dix premiers centimètres du sol étaient séparés en fractions organique et minérale afin de mieux percevoir un éventuel déplacement vertical du produit. Pour les autres stations, les échantillons composites étaient constitués des dix premiers centimètres sans

distinction de ces fractions. Toutefois, l'importance relative de la fraction organique était notée.

Le programme d'échantillonnage établi aux stations Kedgwick et Lac Castor était basé sur les données citées dans Ghassemi et al., 1981. Afin d'évaluer adéquatement la persistance du glyphosate dans le sol, nous avons réparti la séquence d'échantillonnage sur 15 mois. Traitées au mois d'août 1985, les deux stations ont été échantillonnées avant traitement, la première semaine après le traitement, puis à la 2ième, 4ième, 8ième et 10ième semaine. L'année suivante, l'échantillonnage s'est poursuivi 9, 12 et 15 mois après la pulvérisation.

En 1986, les autres stations ont été déterminées en fonction des travaux de pulvérisations dans les diverses régions de la province. On devait prélever à chaque site, au moins un échantillon durant la semaine suivant le traitement afin d'avoir une idée du niveau maximal de résidus. Les visites ultérieures, dans les secteurs les plus accessibles, étaient planifiées à environ deux et trois mois après la pulvérisation.

Les stations Trinité-des-Monts, Painchaud et Bourdages ont été échantillonnées dans la première semaine puis environ 2 et 3 mois après le traitement. Les stations Brunet et Cocquart-Pijart ont été visitées dans la première semaine et 3 mois après les pulvérisations tandis que les stations Laure, Lac des Eaux-Mortes 1 et 2 n'ont été échantillonnées qu'une seule fois, dans la première semaine après le traitement. Les traitements de ces stations ont été réalisés en août 1986.

2.2 Technique de prélèvement

Les instruments utilisés pour l'échantillonnage des résidus de glyphosate dans le sol forestier ont été préalablement décontaminés à l'aide d'eau distillée et d'alcool éthylique, asséchés et enveloppés dans un papier d'aluminium propre jusqu'à leur utilisation. L'échantillon de sol était recueilli à l'aide d'une sonde de marque Oakfield^{MD}, en acier plaqué de chrome. Il s'agissait d'un tube de 30 cm de long avec une ouverture sur le côté. Le diamètre de la carotte de sol était de 2 cm. Le sol était dégagé de la sonde à l'aide d'une tige de

verre. L'échantillon de sol était déposé dans un récipient en verre de marque Mason[MD]. Le couvercle ne pouvant être décontaminé adéquatement, on insérait à l'intérieur de celui-ci, une feuille d'aluminium pour empêcher la contamination de l'échantillon. Les échantillons identifiés étaient ensuite déposés au frais (4°C) dans une glacière et congelés au laboratoire jusqu'à leur analyse.

2.3 Technique d'analyse

L'analyse des résidus de glyphosate dans le sol a été effectuée par le laboratoire de chimie du Service des études environnementales du ministère de l'Énergie et des Ressources au printemps 1987. La technique d'analyse utilisée nécessitait l'usage d'un chromatographe liquide à haute performance (Mamarbachi et Nadeau, 1987). Des tests de récupération ont été faits à des niveaux de concentration de 1 µg/g. Quatre essais, réalisés avec des sols organiques, ont présenté une récupération moyenne de 76% avec un coefficient de variation de 5%. Avec des sols minéraux, huit essais ont permis une récupération moyenne de 53% ± 16%. La limite de détection était de 0,050 µg/g de poids sec.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les tests de récupération effectués à partir de sols enrichis d'une concentration connue de glyphosate ont présenté une récupération inférieure à 80%. Pour cette raison, nous avons décidé de majorer les résultats obtenus au laboratoire en fonction d'un pourcentage de récupération de 100%. Ainsi, lorsque l'échantillon était constitué de plus de 50% de matière organique, la valeur détectée était multipliée par un facteur de 1,32 alors que ce dernier était de 1,89 pour les sols minéraux.

3.1 Comportement des résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées en 1985

Vingt-cinq échantillons composites ont été récoltés dans un délai de 15 mois après la pulvérisation aux stations Kedgwick et Lac Castor. Les résultats des analyses sont présentés au tableau 2.

Tableau 2 : Résidus de glyphosate[a] dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1985

Temps après traitement	Kedgwick		Lac Castor	
	fraction organique	fraction minérale		
	Glyphosate (µg/g)	Glyphosate (µg/g)	Glyphosate (µg/g)	Matière organique (%)
Témoin[b]	ND[c]	ND	ND	70
3 jours	0,563	ND	—	—
4 jours	—	—	0,514	60
6 jours	0,326	ND	—	—
12 jours	—	—	0,192	70
13 jours	0,400	ND	—	—
27 jours	0,357	ND	—	—
33 jours	—	—	0,464	60
48 jours	0,193	ND	—	—
61 jours	—	—	0,195	80
75 jours	0,089	ND	—	—
9 mois	0,295	ND	0,089	70
12 mois	0,074	ND	0,166	90
15 mois	ND	ND	ND	90

[a] Valeurs exprimées en poids sec et majorées en regard des tests de récupération
[b] Prélevé avant traitement
[c] Non détecté (< 0,050 µg/g)

La séparation des fractions organique et minérale n'a été effectuée que pour les neuf échantillons prélevés à la station Kedgwick. À la station Lac Castor, les sept échantillons contenaient environ 75% de matière organique. Des échantillons témoins, prélevés avant la pulvérisation, confirmaient l'absence initiale de glyphosate aux deux stations. La figure 2 illustre le comportement des résidus retrouvés à chacune d'entre elles.

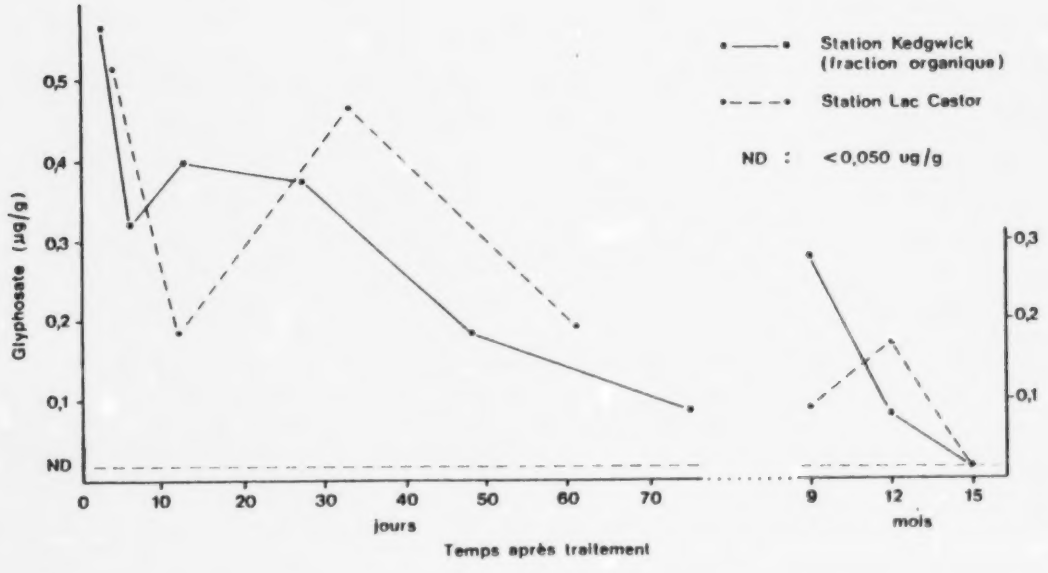


FIGURE 2 : Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans le sol des stations traitées à 1 495 g i.a./ha en 1985

À la station Kedgwick, la fraction organique présentait des résidus maximums de 0,563 µg/g de poids sec, 3 jours après le traitement. Par la suite, les valeurs retrouvées diminuaient pour atteindre 0,357 µg/g à 27 jours puis 0,074 µg/g douze mois après le traitement. Ces derniers résultats représentaient respectivement 63 et 13% de la valeur maximale retrouvée trois jours après le traitement. On a remarqué que le résultat obtenu au 9ième mois (0,295 µg/g) s'éloignait par contre de ce patron de disparition des résidus. Cette période correspond au printemps suivant le traitement et l'augmentation enregistrée pourrait peut-être s'expliquer par l'apport de résidus provenant de

la végétation contaminée et maintenant retrouvée dans la litière. Ce phénomène a déjà été remarqué avec d'autres phytocides (Laberge et Léveillé, 1984). Cependant, cette situation n'a pas été observée à la station Lac Castor. Enfin, un échantillon prélevé à 15 mois ne présentait aucun résidu détectable.

Toujours à la station Kedgwick, aucun résidu de glyphosate n'a été détecté dans la fraction minérale des échantillons (< 0,05 µg/g). Ces données révèlent donc une très faible mobilité du produit vers les strates sous-jacentes, appuyant ainsi l'importance du phénomène d'adsorption à la matière organique rapportée par divers auteurs (Sprankle et al., 1975a et 1975b; Rueppel et al., 1977; Ghassemi et al., 1981; Damanakis, 1976). Ces résultats pourraient cependant être différents en secteurs scarifiés où la matière organique et le sol minéral sont mélangés.

À la station Lac Castor, la quantité maximale de résidus détectée était de 0,514 µg/g quatre jours après le traitement. Ensuite, nous avons obtenu 0,192, 0,464, 0,195, 0,089 et 0,166 µg/g respectivement 12, 33, 61 jours, 9 et 12 mois après le traitement. On observe donc après un an, 32% de la quantité maximale retrouvée quatre jours après le traitement. À 15 mois toutefois, on ne détectait plus de résidus (< 0,050 µg/g).

3.2 Résidus de glyphosate dans le sol des stations traitées en 1986

En 1986, un total de 16 échantillons a été prélevé sur sept sites répartis à travers la province. Ces échantillons devaient, dans une certaine mesure, permettre de vérifier le patron de disparition retrouvé dans les deux stations citées précédemment.

Le tableau 3 présente ces résultats en fonction des sites échantillonnés et des temps de prélèvement après le traitement.

TABLEAU 3 : Résidus de glyphosate[a] dans le sol des stations traitées à 1 495 g 1.a./ha en 1986

Stations échantillonnées	Temps après traitement	Glyphosate (µg/g)	Matière organique (%)
Trinité-des-Monts	2 jours	1,14	60
	51 jours	0,245	50
	78 jours	0,114	60
Painchaud	3 jours	1,01	50
	53 jours	ND[b]	50
	79 jours	0,155	40
Bourdages	1 jour	1,37	70
	63 jours	0,149	60
	82 jours	0,120	70
Brunet	6 jours	0,325	10
	66 jours	0,385	10
Cocquart-Pijart	1 jour	0,960	20
	84 jours	0,226	20
Laure	2 jours	0,555	100
Lac des Eaux-Mortes-1	3 jours	0,449	30
Lac des Eaux-Mortes-2	4 jours	1,04	30

[a] Valeurs exprimées en poids sec et majorées en regard des tests de récupération
[b] Non détecté (< 0,050 µg/g)

Étant donné que la disparition du glyphosate s'échelonne sur plusieurs semaines, nous estimons que le regroupement des données recueillies à quelques jours d'intervalle permet une analyse des résultats satisfaisante dans le cadre d'un suivi environnemental en milieu naturel. Ainsi, les trois périodes suivantes ont été considérées : la première semaine, le deuxième et le troisième mois après la pulvérisation.

Dans la première semaine après le traitement, la quantité de résidus de glyphosate varie de 0,325 µg/g à la station Brunet à 1,37 µg/g à la station Bourdages. En moyenne, on observe une valeur de 0,856 µg/g avec un écart type de ± 0,369 µg/g.

La variabilité des résidus retrouvée au sol peu de temps après un traitement a été observée dans d'autres études. En effet, Torstensson et Stark (1979) observaient des résidus, variant de 23 à 100% de la dose pulvérisée dans les cinq premiers centimètres du sol de différents sites. D'autre part, Newton et al. (1984) notaient qu'à la suite d'une pulvérisation aérienne de glyphosate à la dose de 3,3 kg/ha, le dépôt initial de glyphosate dans les 7,5 premiers centimètres de sol d'un milieu forestier variait de 0,12 à 3,05 mg/kg. La cause de ces variations était attribuée en partie à l'interception du produit par la végétation. Dans notre étude, on pourrait percevoir cette influence particulièrement au secteur du Lac des Eaux-Mortes. À la station 1, la couverture végétale était relativement forte (98%) et nous avons retrouvé des résidus de 0,449 µg/g alors qu'à la station 2, la couverture était moins importante (70%) et la quantité de résidus retrouvée était de 1,04 µg/g. De plus, le glyphosate étant soluble à l'eau, nous ne devons pas oublier l'apport possible de résidus provenant du lessivage de la végétation traitée à la suite des premières pluies après le traitement. Ce dernier paramètre n'a pas été mesuré aux différentes stations échantillonnées.

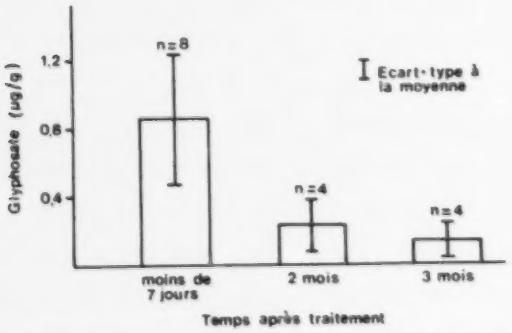


FIGURE 3 Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans le sol des stations traitées à 1,495 kg i.a./ ha en 1986.

Les échantillons prélevés environ deux mois après traitement présentent les résultats suivants pour les quatre stations visitées : 0,245, < 0,050, 0,149 et 0,385 µg/g; la moyenne étant de 0,207 µg/g ± 0,143 µg/g.[1] Enfin, l'analyse des échantillons récoltés près de trois mois après le traitement, révèle des résidus de 0,114, 0,155, 0,120 et 0,226 µg/g avec comme valeur moyenne 0,154 µg/g ± 0,051 µg/g (figure 3).

3.3 Patron général de disparition des résidus de glyphosate dans le sol

Afin d'esquisser un patron général de disparition des résidus de glyphosate

---

1 La valeur de 0,049 µg/g a été utilisée en remplacement de < 0,050 µg/g lors du calcul.

dans le sol à la suite de pulvérisations en milieu naturel, nous avons considéré l'ensemble des résultats obtenus dans la présente étude. Nous devons cependant faire une mise en garde à l'égard des valeurs qui proviennent de la station Kedgwick où la procédure d'échantillonnage a divergé quelque peu des autres sites.

Le maximum de résidus retrouvé a été de 1,37 µg/g un jour après le traitement. En tenant compte des onze valeurs obtenues à l'intérieur de la première semaine après le traitement (on ne tient pas compte des deux résultats non détectés pour la matière minérale à la station Kedgwick), la valeur moyenne retrouvée est de 0,750 µg/g ± 0,362 µg/g. Par la suite, les résidus diminuent assez rapidement durant le premier mois après le traitement (figure 4). Après deux mois, le niveau moyen de résidus retrouvé est de 0,205 µg/g ± 0,124 µg/g (n = 5) soit 27% de la valeur moyenne initiale. Ensuite, la diminution des résidus s'avère plutôt lente et aucun résidu n'est détecté (< 0,050 µg/g) dans les deux échantillons récoltés après 15 mois. Des études réalisées par Tortensson et Stark (1979) attribuent la persistance de petites quantités de résidus au phénomène d'adsorption aux particules de sol. Le produit serait moins disponible pour la dégradation par les micro-organismes.

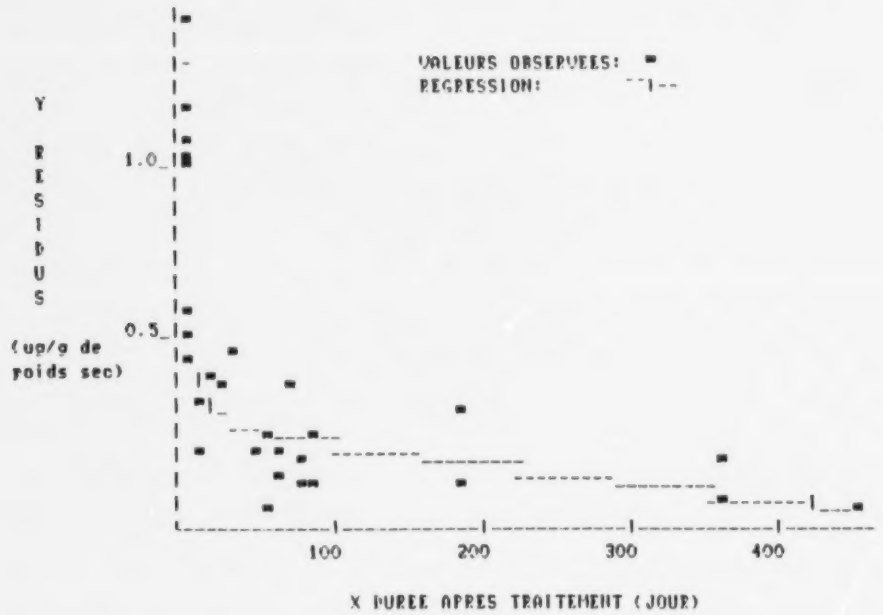


Figure 4 : Résidus de glyphosate en fonction du temps après traitement dans des sols forestiers traités à 1 495 g i.a./ha en 1985 et 1986.

Le traitement des données par le biais de l'analyse de régression[1], révèle que la relation de persistance dans le temps (x) des résidus de glyphosate retrouvés dans le sol après traitement (y), s'ajuste de manière satisfaisante à l'équation suivante : $y = 0{,}261519 + (1{,}021869/x) - 0{,}000502x$. Le coefficient de détermination (R^2) est égal à 0,74 et l'écart-type de l'estimé (s_{yx}) est de l'ordre de 0,187 µg/g de poids sec. Cette analyse assume que la dose théorique de 1 495 g i.a./ha était appliquée. L'équation peut donner une idée de la quantité de résidus dans le sol pour un délai variant du moment de l'application jusqu'à concurrence de 450 jours après traitement.

Il est difficile de retrouver dans la littérature des résultats qui proviennent d'opérations semblables aux nôtres. Voici à titre d'information ce que Ragab et al. (1985) obtenaient à la suite d'une étude des résidus dans un terreau sableux traité à 4,25 kg i.a./ha. Les échantillons prélevés 1, 10, 19, 29, 52, 86 et 122 jours après la pulvérisation contenaient respectivement 69% (1,48 ppm), 30% (0,63 ppm), 22% (0,47 ppm), 14% (0,30 ppm), 12% (0,25 ppm), 4% (0,09 ppm) et 0% (0,00 ppm) de la quantité initiale.

Selon les données disponibles en littérature, il ne semble pas que le niveau maximum de résidus retracés lors de cette étude occasionne des répercussions prononcées sur les populations de micro-organismes du sol. Aucun effet apparent ne serait remarqué dans les processus de nitrification et de dégradation de la cellulose, de l'amidon et des protéines à des doses de 5 et 25 µg/g (Rueppel et al., 1977; Ghassemi et al., 1981; Muller et al., 1981). Les produits de dégradation qui ont été retracés dans ces études sont les mêmes quel que soit le type de sol. Le principal métabolite observé serait l'acide aminométhylphosphonique qui peut représenter 15 % de la quantité initiale du produit. Ce dernier s'avérerait biodégradable. Les autres métabolites ne représenteraient individuellement pas plus de 1 % de la quantité initiale (Rueppel et al., 1977).

---

[1] Effectuée à partir du logiciel SACADOS

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant sur des secteurs traités par voie terrestre en milieu forestier semblent être, dans leur ensemble, passablement cohérents avec les diverses informations rapportées dans la littérature.

D'autres programmes d'échantillonnage seraient toutefois nécessaires afin de confirmer et de préciser le patron général de disparition du produit suggéré dans la présente étude. Dans ces cas, il sera important de préciser la texture du sol puisque différents auteurs ont observé des demi-vies variables en fonction de ce paramètre. À titre d'exemple, citons Rueppel et al. (1977) qui obtiennent avec des loams argileux, sableux et limoneux traités à un dosage équivalent à 4,48 kg i.a./ha, des demi-vies respectives de 27, 130 et 3 jours. Ghassemi et al. (1981) rapportent pour leur part des demi-vies allant de 17 à 19 semaines pour un sol sableux alors que dans un loam limoneux, cette période est réduite à environ trois semaines.

Comme, au MER, plusieurs sites destinés au reboisement sont préparés avec des scarificateurs qui mélangent la matière organique et le sol minéral, le prélèvement des 10 premiers centimètres de sol est recommandé afin d'uniformiser le mode d'échantillonnage. Il sera important de noter la proportion de matière organique recueillie dans les échantillons composites. L'importance de la végétation devra être notée afin de tenir compte de l'interception possible du produit lors de l'application. De même, l'influence des premières précipitations devra être considérée.

Pour évaluer la persistance des résidus de glyphosate, les échantillons recueillis un peu partout dans la province, pourront être échelonnés sur environ quinze mois.

Parallèlement à ces échantillons, une étude sur l'uniformité des résidus dans un secteur traité pourra être entreprise afin de préciser la représentativité d'un échantillon tel que prélevé dans la présente étude. Ainsi, pour au moins trois secteurs, on pourra comparer 5 échantillons composites prélevés après un même délai et provenant de divers endroits du secteur. Il faudra décrire adéquatement les endroits échantillonnés afin de permettre une comparaison valable des résultats.

CONCLUSION

Aux deux secteurs échantillonnés pendant près d'un an et demi, nous avons obtenu une valeur maximale de résidus de glyphosate de 0,563 µg/g, quelques jours suivant le traitement. Après 15 mois, aucun résidu n'était détectable (< 0,05 µg/g). Le glyphosate semblerait présenter une forte adsorption à la fraction organique du sol puisqu'aucun résidu n'a été détecté dans la fraction minérale des dix premiers centimètres du sol d'un secteur.

Les résultats provenant des autres secteurs présentent une valeur maximale de 1,37 µg/g. Après 3 mois, on observe une valeur moyenne de 0,154 µg/g ± 0,051 µg/g.

Même en considérant le plus haut niveau de résidus trouvé dans cette étude, il semble peu probable que le glyphosate occasionne des effets négatifs sur les populations de micro-organismes du sol, compte tenu des données disponibles en littérature.

BIBLIOGRAPHIE

BÉLANGER, P. et H. LÉCUYER, 1982. Normes relatives à l'utilisation de phytocides en milieu forestier. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, 60 p.

BOUDOUX, M. et F. BONENFANT, 1983. Système automatique conversationnel d'analyse de données statistiques (SACADOS). Gouvernement du Canada, ministère de l'Environnement, Centre de Recherches Forestières des Laurentides, 2° édition, rapport LAU-X-39, 22 p.

DAMANAKIS, M.E., 1976. Behaviour of glyphosate in the soil (adsorption, leaching, degradation). Annals Inst. Phytopath. Benaki, 11 (3) : 153-167.

DOSTIE, R. et H. LÉCUYER, 1987. Évaluation du dépôt et de la dérive du glyphosate lors de pulvérisations terrestres en milieu forestier, 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service de la régénération forestière et Service des études environnementales, 39 p.

GHASSEMI, M., L. FARGO, P. PAINTER, P. PAINTER, S. QUINIIVAN, R. SCOFIELD and A. TAKARA, 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, Washington, D.C., contract no. 68-02-3174, pp. A149-A168.

GROSSBARD, E., 1974. The effect of herbicides on the decay of pure cellulose and vegetation in weed research organization : Research and development at Begbroke. Chemistry and Industry, 15 : 611.

HANCE, R.J., 1976. Adsorption of glyphosate by soils. Pesticide Science, 7 : 363-366.

LABERGE, L. et P. LÉVEILLÉ, 1984. Résidus de 2,4,5-T dans le sol forestier après pulvérisations terrestres en 1983. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, publication no 3312, 19 p.

LEGRIS, J., G. COUTURE, L. LABERGE et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface en milieu forestier suite à des pulvérisations terrestres, 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3315, 35 p.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988. Résidus de glyphosate dans les fruits sauvages et la végétation suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, en préparation.

MAJOR, L. et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations de glyphosate dans l'air et exposition des travailleurs lors de certaines pulvérisations terrestres de phytocides en 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3316, 11 p.

MAMARBACHI, G. et N. NADEAU, 1987. Méthode d'analyse de glyphosate dans l'eau, l'air, le sol, les sédiments et la végétation. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3319, 16 p.

MULLER, M.M., C. ROSENBERG, H. SILTANEN and T. WARTIOVAARA, 1981. Fate of glyphosate and its influence on nitrogen-cycling in two Finnish agriculture soils. Bull. Environm. Contam. Toxicol., 27 : 724-730.

NEWTON, M., K.M. HOWARD, B.R. KELPSAS, R. DANHAUS, C.M. LOTTMAN and S. DUBELMAN, 1984. Fate of glyphosate in an Oregon forest ecosystem. J. Agric. Food Chem., 32 (5) : 1144-1151.

RAGAB, M.T.H., M.K.H. ABDEL-KADER and D.A. STILES, 1985. Fate of glyphosate in a sandy loam soil and analysis for residues in field-grown crops. Proceedings, N.S. Inst. Sci., 35 : 67-70.

RUEPPEL, M.L., B.B. BRIGHTWELL, J. SCHAEFER and J.T. MARVEL, 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J. Agric. Food Chem., 25 (3) : 517-528.

SPRANKLE, P., W.F. MEGGITT and D. PENNER, 1975a. Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. Weed Science, 23 (3) : 229-234.

SPRANKLE, P., W.F. MEGGITT and D. PENNER, 1975b. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. Weed Science, 23 (3) : 224-228.

TORSTENSSON, L. and J. STARK, 1979. Persistence of glyphosate in forest soils. In : Weeds and Weed Control 1. Reports, 20th Swedish Weed Conference, Sveriges Lantbruks University, Uppsala, Sweden, pp. 145-149.

TORSTENSSON, L., 1985. Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. In : The herbicide glyphosate, E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., U.K., pp. 137-150.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service des études environnementales